DONJI STROJ PUTEVA

Predavanje 8

Prof.Dr Dragan Mihajlović

DONJI STROJ PUTEVA

Put kao građevinski objekat dijeli se na

- Donji stroj puta (trup puta i objekti na putu)
- Gornji stroj puta (kolovozna konstrukcija)
- Oprema puta

Donji stroj puta je onaj dio konstrukcije koji ima zadatak da, preko oformljene ravne površine, prenosi saobraćajno opterećenje na tlo. Ujedno ima funkciju nivelacionog regulatora odnosa sa okolinom. Donji stroj se najčešće gradi u prirodnom tlu i od prirodnih materijala, pa se radovi na njegovoj izgradnji svrstavaju u grupu zemljanih ili takozvanih geotehničkih radova. Ovim pojmom obuhvaćeni su radovi na iskopu, transportu i ugradnji zemljanog i drugog materijala radi stvaranja stabilne noseće konstrukcije saobraćaja.

Donji stroj čine:

- podtlo,
- zemljani trup i
- vještački objekti.

Podtlo je prirodno tlo pripremljeno za fundiranje trupa puta (u slučaju nasipa), odnosno za neposredno prenošenje opterećenja sa gornjeg stroja na podlogu (u slučaju useka). Završni sloj podtla se naziva posteljica.

Zemljani trup (trup saobraćajnice) je vještačka konstrukcija čiji je zadatak da obezbjedi stabilnost gornjeg stroja i kontinuitet nivelete. Gradi se od prirodnih materijala po odgovarajućim geotehničkim kriterijumima. Može biti izveden u obliku

- nasipa,
- usjeka i
- zasjeka.

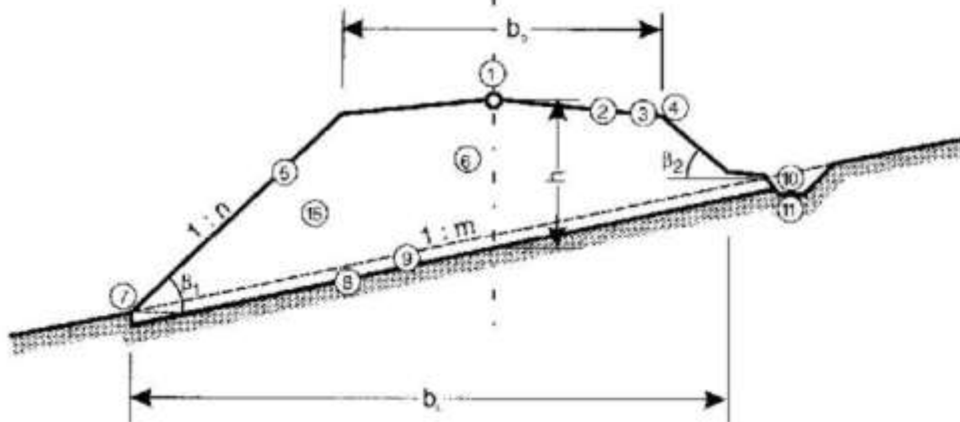
Objekti u donjem stroju su:

- Propusti
- Mostovi
- Vijadukti
- Tuneli
- Potporni i obložni zidovi
- Drenaže i odvodni jarci
- Galerije

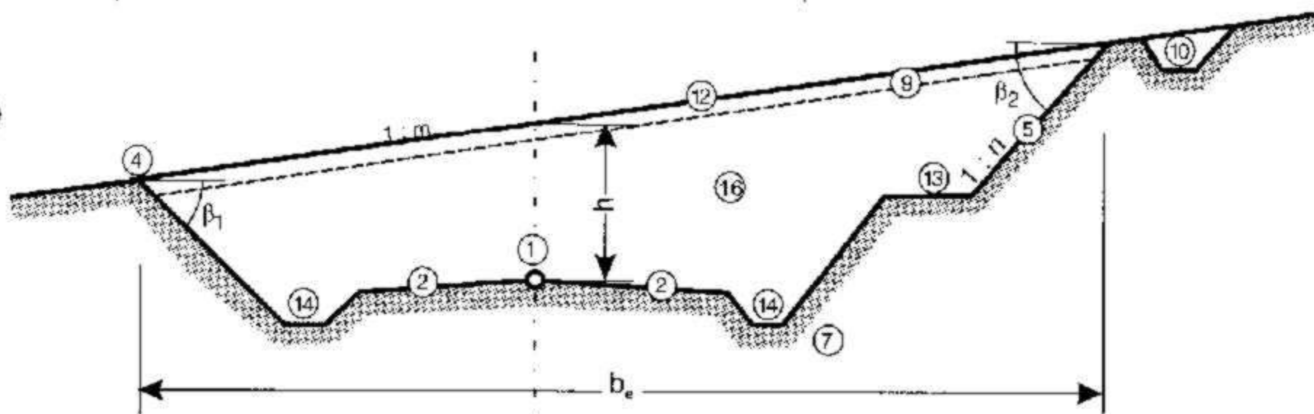
POSTELJICA

Posteljica predstavlja temelj kolovozne konstrukcije. Ona je u usjeku od prirodnog tla dok je u nasipu od prirodnog tla transportovanog iz usjeka ili iz pozajmišta u okolini trase.
Posteljice su klasifikovane u tri tipa:
Čvrstoća slabo nosivih posteljica može biti poboljšana mehanički ili hemijski.
Mehanički postupak se sastoji od poboljšavanja granulometrijskog sastava temeljnog tla i njegovog sabijanja. Dubina sabijanja tla u posteljici je od 15 do 30 cm.
Hemijski postupak se ogleda u dodavanju veziva kao što su cement, kreč, pepeo, itd.

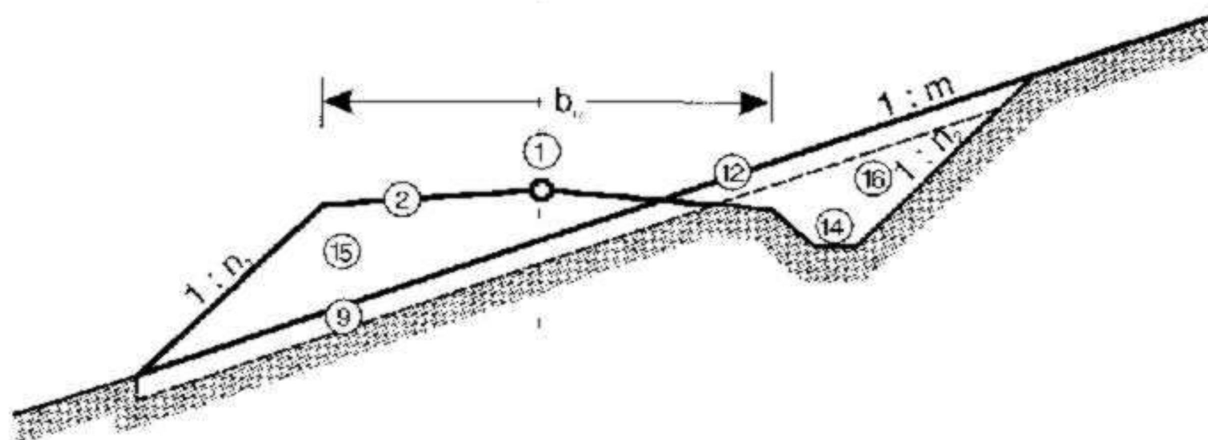
Tip posteljice		**Minimalna debljina donje podloge (cm)**
Slaba	Sve posteljice gdje je CBR ≤2	15
Normalna	2<CBR≤15	8
Vrlo čvrsta	Sve posteljice čiji je CBR>2	0



NASIP

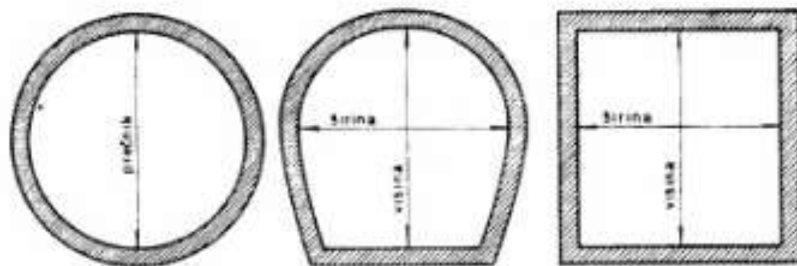


USJEK



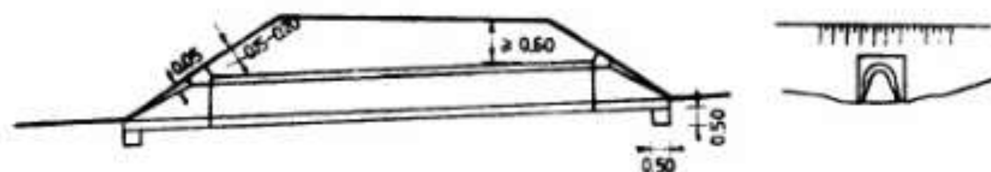
ZASJEK

Propusti

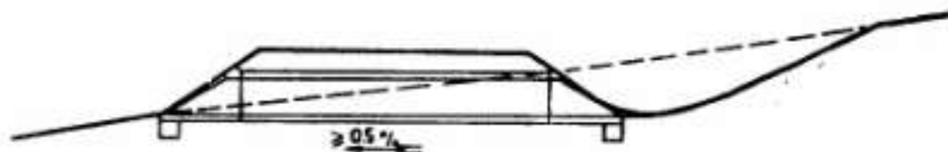


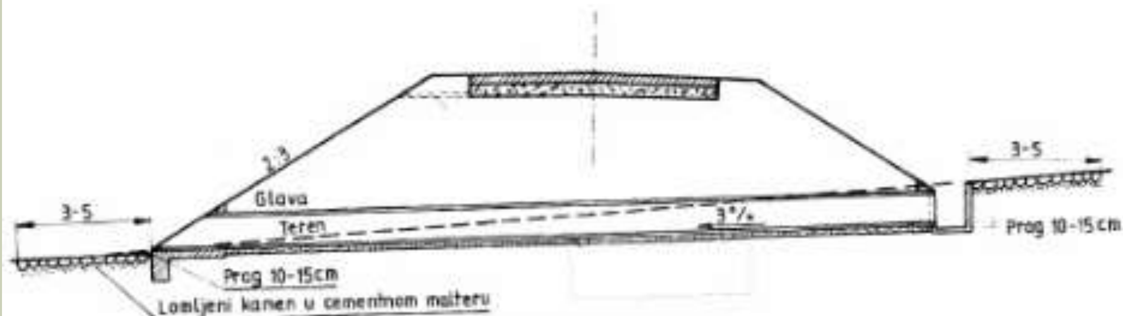
CEVAST PROPUST PARABOLIČAN PROPUST PRAVOUGAONI PROPUST

NAJCEŠCI POPRECNI PRESECI CEVASTIH PROPUSTA



PODUZNI PRESEK I IZGLED CELA CEVASTOG PROPUSTA



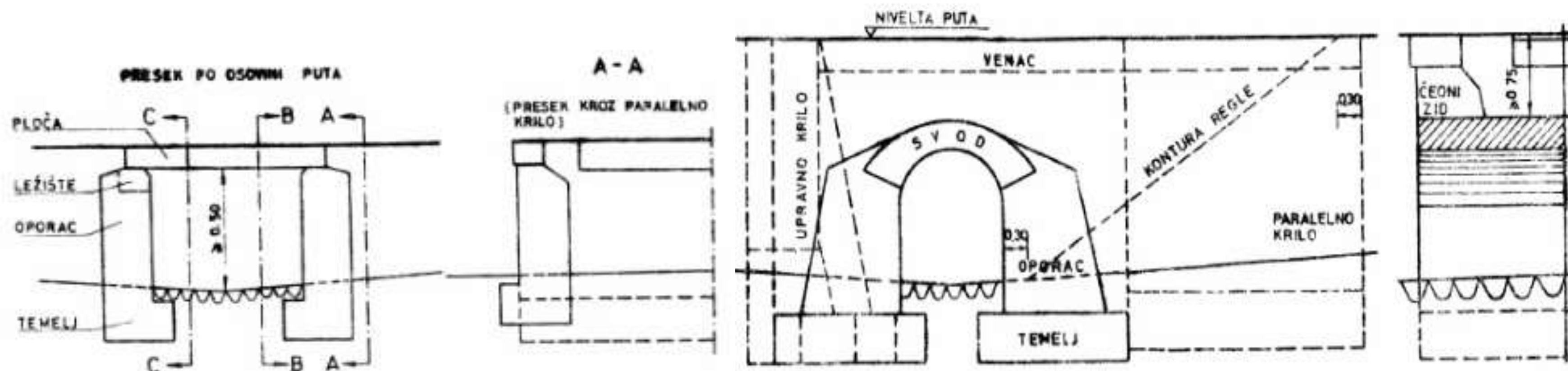


BETONSKI CEVAST PROPUST



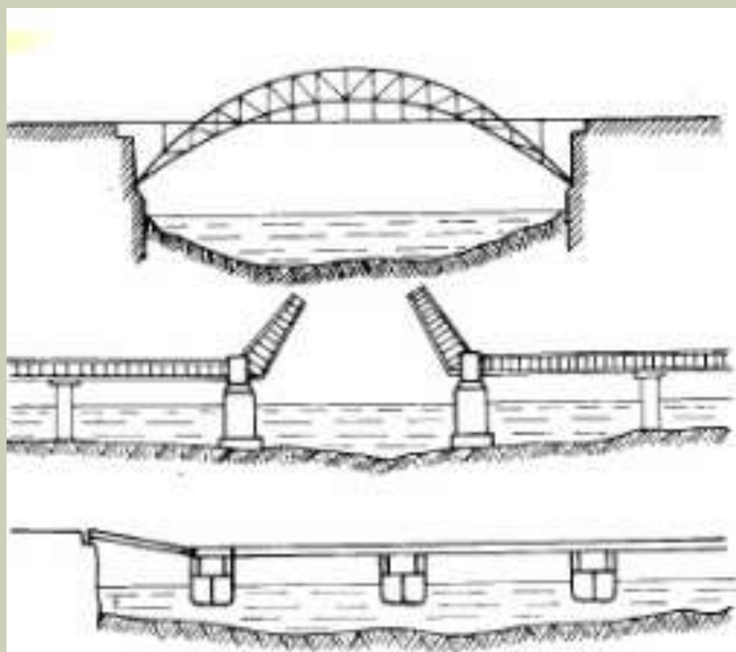


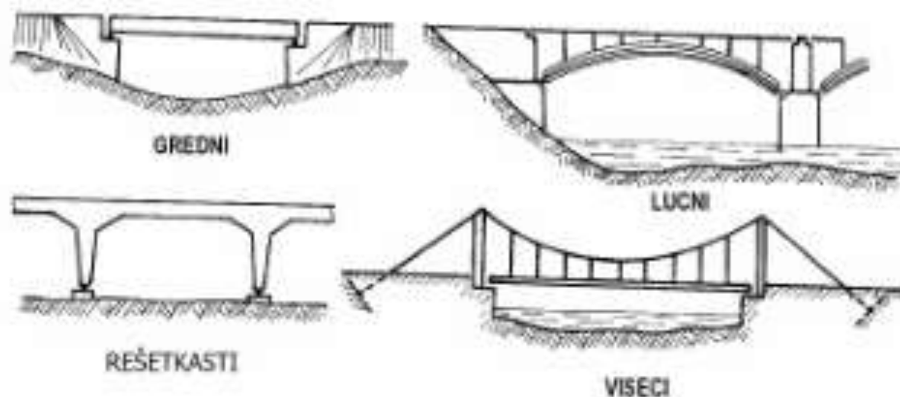




Pločasti propust

Zasvedeni propust





PODELA MOSTOVA S OBZIROM NA OSNOVNE NOSECE ELEMENTE







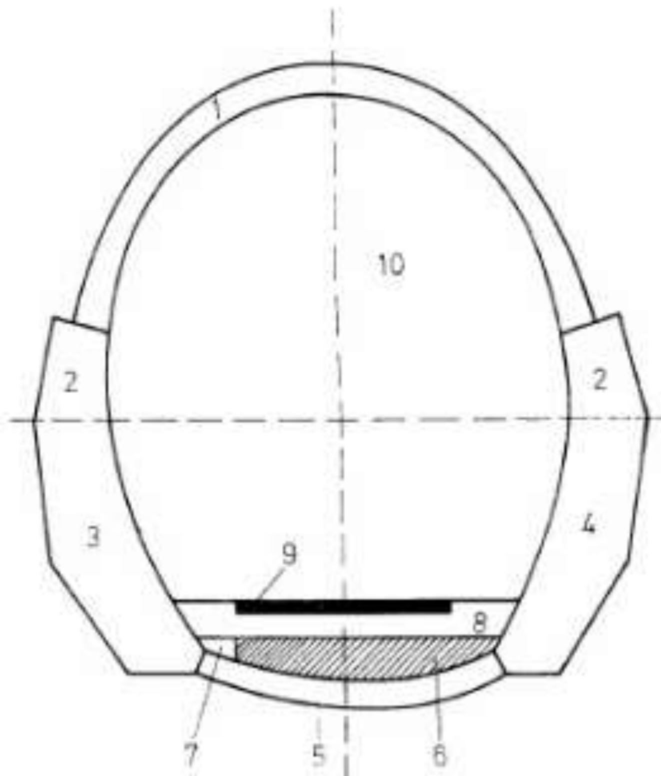
Mostovi i vijadukti



Tuneli

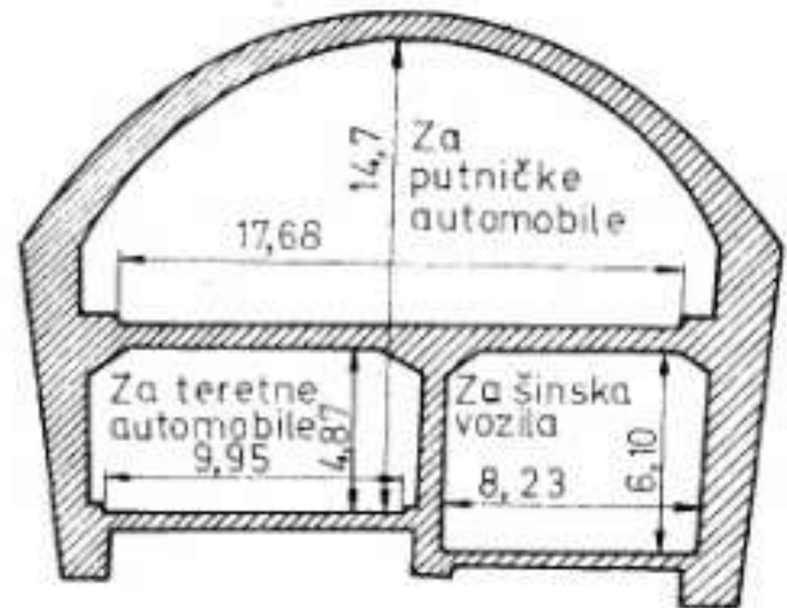


SLOBODNI PROFIL PUTA U TUNELU



OBZID TUNELA

1. Gornji temeni svod
2. Nazidak
3. Levi oslonac
4. Desni oslonac
5. Podnožni svod
6. Ispuna
7. Kanal
8. Zastor
9. Prag
10. Slobodni profil tunela



PRESEK DVOSPRATNOG TUNELA U SAN FRANCISKU





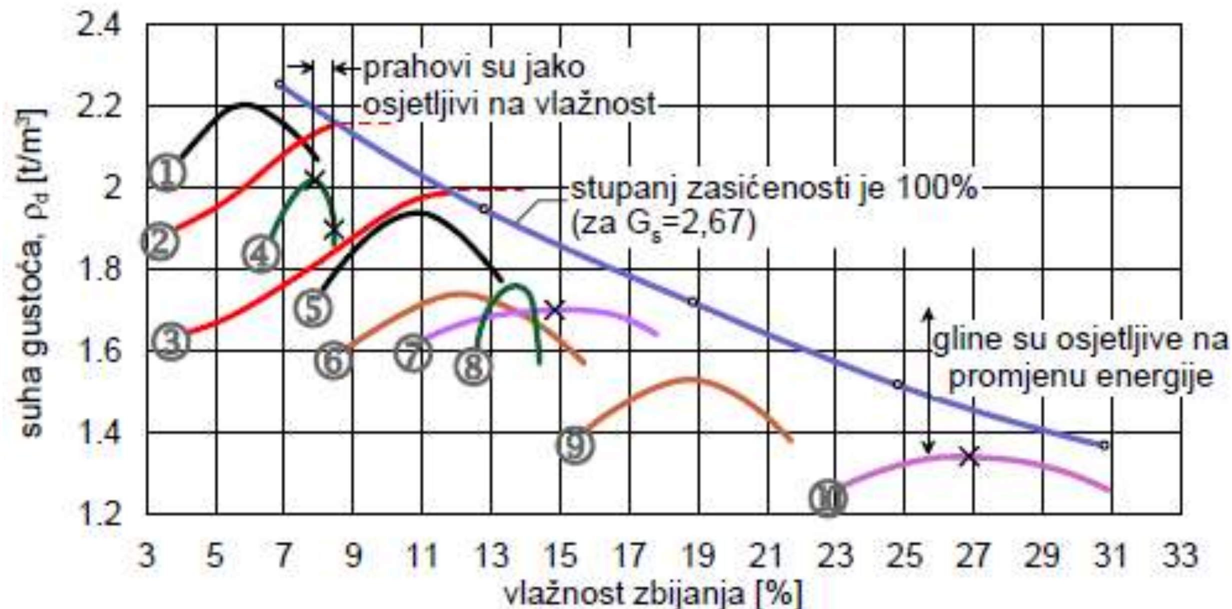

Tuneli i galerije

UGRADNJA ZEMLJANIH MATERIJALA

Zemljani se materijali ugrađuju u:
- nasipe i kolovozne konstrukcije za puteve,
- nasipe i podloge za temelje objekata,

“Ugraditi”, znači najčešće materijal razastrijeti po pripremljenoj podlozi i zbiti ga valjanjem u sloj određene debljine. Na takav se sloj treba moći ugraditi novi sloj. Zbijanjem se zemljanom materijalu daju bolje mehaničke osobine tj. veća krutost i čvrstoća. Nisu svi materijali tla jednako pogodni za ugradnju, međutim, često se isplati koristiti zemljani materijal koji je slabije ugradljiv, a bliži je mjestu ugradnje nego bolji iz udaljenog nalazišta, jer su transportni troškovi vrlo veliki.
Zato treba detaljno ispitati razna nalazišta materijala u blizini gradilišta.
U prikladne materijale za nasipanje spada većina prirodnih zrnatih materijala, ali i određeni otpadni proizvodi, kao što su odabrana jalovina iz ugljenokopa i leteći pepeo.
Pojedini koherentni materijali mogu biti prikladni za ugradnju, ali zahtijevaju poseban tretman. Kriteriji za izbor materijala, koji je prikladan za nasipanje, zasnivaju se na postizanju odgovarajuće čvrstoće, krutosti i vodopropusnosti nakon zbijanja. Pri tome se mora uzeti u obzir svrha nasipanja i zahtjeve moguće konstrukcije koja će se izgraditi na nasutoj podlozi.

Ugradljivost zemljanih materijala se ispituje na uzorcima u laboratoriju i na probnim poljima na terenu. “Najpopularniji” način ispitivanja ugradljivosti je *Proktorov opit*. U tom se opitu uzorci zbijaju s kontrolisanom energijom i određuje se vlažnost koja daje maksimalnu gustoću tla. Iskustvo je pokazalo da se materijal različito zbija za razne vlažnosti i energije zbijanja. Energija zbijanja bi trebala odgovarati energiji ugradnje raznih mašina za zbijanje na terenu. R.R.Proctor je standardizirao postupak ugradnje uzoraka u laboratoriju koji je približno odgovarao (prema iskustvu) tadašnjim mašinama (krajem tridesetih godina). Mašine su vremenom imale sve veću masu, pa je kasnije standardizovan i tzv. *modifikovani Proctorov opit*, s većom energijom zbijanja.
Budući da materijal pri zbijanju uvijek ima određenu vlažnost, zbijanjem se zapravo “istjeruje” zrak iz pora.



1. Dobro graduirani krupnozrni materijal sa dosta prašine i gline
2. i 3. čisti pijesak
4. i 8. prah
6. i 9. niskplastična glina
7. i 10. visokoplastična glina

U putogradnji je uobičajeno ispitivanje i čvrstoće materijala tzv. CBR opitom kojim se određuje *kalifornijski indeks nosivosti tla* (California bearing ratio), a u pravilu se upotrebljava kod kolovoznih konstrukcija.
Rezultati Proktorovog opita i terenskih ispitivanja (ploča i sl.) služe za određivanje tehničkih uslova za ugrađivanje zemljanih materijala.

- Opit kružnom pločom je druga metoda, kojom se vrši ispitivanje deformacija ugradjenog sloja na taj način što se u jednakim vremenskim intervalima utvrdjuje prodiranje u ugradjeni sloj ploče odredjenog prečnika, pri odredjenim specifičnim pritiscima, koji se povećavaju u odredjenim vremenskim intervalima. Na ovaj način dobija se tzv.modul stišljivosti ugradjenog sloja.

Zbijanjem treba postići 95 do 98% maksimalne gustoće dobivene Proktorovim opitom.

VRSTA STROJA	MASA STROJA (t)	VRSTA ZEMLJANOG MATERIJALA	DEBLJINE SLOJA (cm)
GLATKI VALJCI	1 do 18,0	kamena podloga, drobljenac, zaglađivanje površina	15 do 45
JEŽEVI bodlje 15-20cm	3,0 do 20,0	koherentni materijali	15 do 25
VALJCI S GUMENIM KOTAČIMA	8,0 do 50,0	koherentni i nekoherentni materijali	20 do 50
VIBRACIJSKI GLATKI VALJCI	1,0 do 15,0	nekoherentni materijali i nasipi od krupnog drobljenca	60 do 2000
VIBRACIJSKI JEŽEVI	5,0 do 15,0	sitnozrni materijali i koherentni materijali	do 50
VIBRACIJSKE PLOČE I EKSPLOZIVNI MALJEVI	mali strojevi	razni materijali (manje količine radova)	10 do 40

ISKOP

Iskopom tla nastaje usjek ili zasjek.
Prvi korak u svakom iskopu je skidanje humusa. Humus je površinski sloj tla debljine od 0-15 cm u kojem se nalazi korijenje niskog raslinja. On se najčešće odlaže za kasniju u potrebu u oblaganju nasipa.
Tlo kao materijal javlja se u dvije skupine građevina na površini tla. Građevine koje su izvedene u samom tlu – ***usjeci i zasjeci*** i građevine kojima je tlo materijal od kojeg su izgrađene – ***nasipi***.

Iskopi se mogu vršiti i sa namjerom ugradnje iskopanog tla u nasipe. Pri masovnoj izgradnji nasipa, potrebno je za nabavku materijala namjenski otvoriti ***pozajmište***.
Pozajmište je dio terena na kojem je dozvoljen iskop tla, a tlo je takvog kvaliteta da može ugradnjom postići osobine koja se traže od građevine u koju će biti ugrađeno.

ISKOP





Kategorije za široki iskop u putogradnji

Iskop u materijalu A kategorije

Pod materijalom A kategorije podrazumijevaju se svi tvrdi materijali, gdje je potrebno miniranje cijelog iskopa. U tu grupu spadaju sve vrste kompaktnih stijena, u zdravom stanju, uključujući i eventualne tanje slojeve rastrošenog materijala na površini, ili takve stijene s mjestimičnim gnijezdima ilovače i lokalnim trošnim ili zdrobljenom zonama.

Iskop u materijalu B kategorije

Pod materijalom B kategorije podrazumijevaju se miješani kameni i zemljani materijali, gdje je potrebno djelomično miniranje, a veći se dio iskopa obavlja direktnim mašinskim radom (rijanjem). U ovu grupu spadali bi: flišni materijali uključujući i rastrošeni materijal, homogeni lapori, trošni pješčari i mješavine lapora i pješčara, većina dolomita (osim vrlo kompaktnih), raspadnute stijene na površini u debljim slojevima s miješanim raspadnutim zonama, jako zdrobljeni krečnjak, sve vrste škriljaca, neki konglomerati i slični materijali.

Iskop u materijalu C kategorije

Pod materijalom C kategorije podrazumijevaju se svi materijali koje nije potrebno minirati, nego se mogu kopati direktno, upotrebom pogodnih mašina. Ovdje bi spadali vezani zemljani materijali: sve gline visoke do niske plastičnosti, prašinasto tlo; kao i nevezani materijali: pijesci, pjeskoviti šljunci, prirodne kamene drobine i slični materijali.

NASIP

To je zemljani objekat koji se gradi nasipanjem zemlje i nabijanjem iste odgovarajućim mehaničkim oruđima. Nasip se uvijek izvršava u slojevima čija debljina zavisi od uslova sabijanja, vrste materijala i primjenjene mehanizacije. Slojevi koji se nanose su horizontalni, uz neophodan nagib za odvodnjavanje. Materijal ne smije da sadrži organske materije.

Zbijenost koherentnih materijala najbolje se postiže zbijanjem pod uslovom da imaju tzv. optimalnu vlažnost. Ugradjivanje se vrši bradavičastim valjkom - ježom. Materijali sa većim procentom krupnijih zrna mogu se dobro sabijati i pneumatskim valjcima. Završna faza zbijanja je ravnanje glatkim statičkim valjcima. Umesto teških statičkih valjaka u zadnje vrijeme se primenjuju lakši vibrovaljci.

Prije početka izrade nasipa treba izvesti propuste i zaštitne rigole ili jarkove. Zbijenost nasipa kontroliše se po završenoj izradi svakog sloja, uglavnom metodom Proktora i kružnom pločom.

Nasipi su građevine koje mogu biti samostalne, mogu biti podloga građevinama ili njihov sastavni dio. Tada su to građevine koje podliježu zahtjevima u pogledu čvrstoće, stabilnosti i trajnosti.

ISTRAŽNI RADOVI

Istražni radovi služe za utvrđivanje rasporeda, debljine i osobina slojeva pojedinih vrsta najmlađih, kvartarnih naslaga, ispod površine tla, na kojem je predviđeno izgraditi građevinu. Ovaj dio istražnih radova je naročito važan za onaj dio lokacije na kojoj će se izvoditi iskopi, odnosno nasipi.

Nivo istražnih radova	Namjena
Prethodni istražni radovi	Osnovni podaci o tlu koji služe za: - Izbor odgovarajuće vrste građenja - Izbor najpovoljnije lokacije ili trase - Idejna rješenja temeljenja - Podloga za program detaljnih istražnih radova
Detaljni istražni radovi	Detaljni podaci o tlu potrebni za projektovanje, proračun i dimenzioniranje svih potrebnih elemenata glavnog projekta
Dopunski istražni radovi	Izvode se prema potrebi za pojedinačne građevine ako postojeći podaci nisu bili dovoljni

STABILIZACIJA

To je svaki tehničko-tehnološki postupak kojim se poboljšavaju ugradljivost i karakteristike materijala pri promjenama vlažnosti, dejstvu atmosferskih uticaja i opterećenja. Efekti stabilizacije zavise od vrste materijala, porijekla, stepena plastičnosti, granulometrisjkog sastava, vrste upotrebljenog sredstva za stabilizaciju i namjene stabilizovanog materijala. Razlikujemo mehaničku i hemijsku stabilizaciju.
Kod hemijske stabilizacije kao dodaci prirodnom tlu ili stijeni upotrebljavaju se:

- Cement
- Bitumen
- Kreč
- Leteći pepeo, granulisana zgura
- Sintetičke smole

Mehanička stabilizacija se obavlja bez dodavanja novog agregata, samo istiskivanjem tečnosti i vazduha iz pora tla.

Cementna stabilizacija

Koristi se za poboljšanje hemijskih i fizičkih karakteristika prirodnog tla čime se smanjuje plastičnost i stišljivost a povećava nosivost.

- Debljina sloja od 15 do 25 cm
- Portland cement od 0,5 do 15% po masi
- Količina vode od 10 do 15% po masi

Nosivost cementom stabilizovanog tla je najmanje tri puta veća od šljunkovito-pjeskovite podloge iste debljine.

Bitumenska stabilizacija

- Debljina sloja od 10 do 25 cm
- Količina bitumena 2 do 4%
- Količina vode 10 do 15% po masi

Najjednostavniji način je razastiranje emulzije ili razređenog bitumena preko zemljanih površina (4,5 lit/m^2) koji se penetriše u tlo i stabilizuje ga.

Krečna stabilizacija

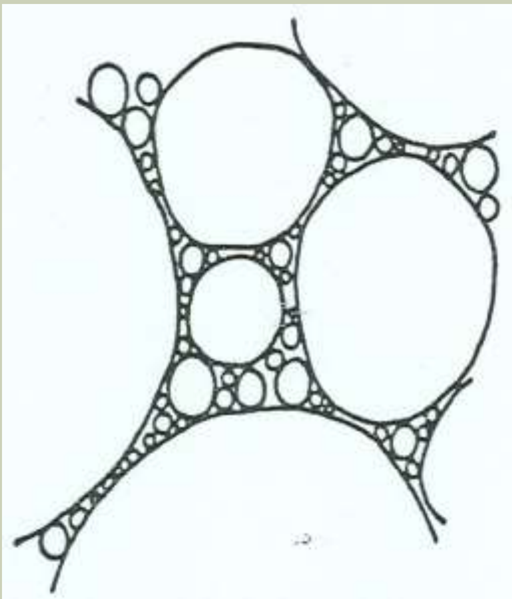
To je alternativa stabilizaciji cementom

Količina kreča 3 do 10% po masi

Voda samo za hidratizaciju kreča

Mehanička stabilizacija se primjenjuje kod nekoherentnih materijala nepovoljnog (jednolikog) granulometrijskog sastava, koji kao takav nije stabilan. Mehanički stabilizovan materijal tla predstavlja homogenu mješavinu odabranog lokalnog materijala, prirodnu ili pripremljenu mješavinu sastavljenu pretežno od kamena, šljunka ili pijeska i dijela mineralnog veziva (prašinasto-glinovita frakcija). Pri tome krupnija kamena frakcija predstavlja skeletnu (nosivu) komponentu, a sitnozrna prašinasto-glinovita frakcija je tzv. "mehaničko vezivo".

Princip mahaničke stabilizacije materijala je da se materijalu nepovoljnog, jednolikog granulometrijskog sastava koji kao takav ne može biti stabilan dodaje drugačiji, sitniji ili krupniji zrnati materijal čime mu popravljamo granulometrijski sastav. Nakon miješanja takav je materijal neophodno i zbiti čime mu povećavamo gustoću te dobivamo mehanički stabilan sistem sa velikim unutrašnjim trenjem.



Najjednostavniji postupak izrade mehaničke stabilizacije je takozvano "šlemanje". Na gradilištima se dosta često primjenjuje kao nužna mjera u slučajevima kada se površina nestabilnog, živog zrnatog kamenog materijala ne da zbiti ili ne može ostati stabilna pod saobraćajem. U takvim se slučajevima površina materijala posipa pijeskom, oštrim drobljenim kamenim materijalom ili sličnim materijalom i uvalja. Na taj se način stvarno stabilizuje samo plitka zona sloja, koja ipak na neki način osigurava kompaktnost materijala koji se nalazi ispod nje.

Kod prave mehaničke stabilizacije potrebno je potpuno miješanje osnovnog i dodatnog materijala u sloju određene debljine, npr. 20 cm. Pri tome je potrebno na osnovu prethodnih ispitivanja granulometrijskih sastava odrediti optimalan sastav komponentnih materijala tj. potrebna količina u kilogramima po jedinici površine za određenu debljinu sloja, dodatnog materijala, krupnijeg ili sitnijeg od osnovnog materijala.
Isto tako određuju se Proctorovi elementi mješavine (optimalna vlažnost, maksimalna suha prostorna masa) pomoću Proctorovog opita.

Uobičajeno se primjenjuje tehnologija izrade na licu mjesta koja obuhvaća:

- pripremu, planiranje osnovnog materijala kojega se želi mehanički stabilizirati,
- navoženje sloja dodatnog materijala jednolične debljine,
- mješanje koje se obavlja rotofrezerima
- regulisanje vlažnosti tako da bude u optimalnim granicama
- zbijanje sloja vibracijskim sredstvima za zbijanje
- kontrolu zbijenosti.

Zbijenost se kontroliše pomoću poređenja stvarne suhe prostorne mase određene volumetrom i maksimalne suhe prostorne mase određene Proctorovim opitom (stepen zbijenosti).



Stabilizacija tla zbijanjem

Zbijanje zrnastog kamenog materijala, bez promjene granulometrijskog sastava osnovnog materijala uobičajeni je postupak pri izgradnji puteva i ne smatra se postupkom koji bi se trebao svrstati u stabilizacijske. Ali sa obzirom da se zbijanjem mijenjaju osobine ugrađenog materijala, npr. njegova nosivost, čvrstoća, stišljivost kao i vodopropusnost zbijanje se može smatrati stabilizacijskim postupkom.

Zadatak zbijanja je popravljanje građevinsko tehničkih osobina tla smanjenjem zapremine pora ispunjenih zrakom, a djelomično i vodom. Zbog gušćeg slaganja čestica tla povećava se čvrstoća, a smanjuju se stišljivost i vodopropusnost takvog materijala.

Zbijanjem se smanjuje opasnost da se vezana tla natope vodom i nabubre, kao i da im se znatno povećaju deformacije pod djelovanjem opterećenja (pad nosivosti).

Postignuta zbijenost zavisi od mašina za zbijanje, postupku zbijanja, vrsti tla, sadržaju vode i deformabilnosti podloge. Ovakva kompleksna zavisnost traži poznavanje geomehaničkih osobina tla, sposobnosti mašina za zbijanje, sa posebnim osvrtom na njihovo djelovanje na zbijanje pri nepravilnoj primjeni, pa poznavanje samih radnih procesa zbijanja i ispitivanje zbijenosti za kontrolu propisanog kvaliteta. Različiti materijali ne reaguju jednako na pojedine mašine za zbijanje. Najveći utjecaj na zbijanje imaju:

1. vrsta materijala koji se zbija,
2. stanje vlažnosti materijala,
3. tražena zbijenost materijala,
4. primjena mašina.

Nekoherentna tla

Rastresito nevezano tlo zbija se djelovanjem vibracija tako da se materijal tla pod vibracijama zbog gotovo nestalih sila unutrašnjeg trenja (uslijed vibracija), a uz djelovanje vlastite težine i djelomično prisutne težine mašine za zbijanje, počinje slagati tako, da manja zrna upadaju u šupljine između većih zrnaca. Na taj način dobivamo gušću strukturu nevezanog materijala. Za nevezani materijal jačina vibracija (veličina amplituda) ima relativno malo značenje pri zbijanju.

Koherentna tla

Kod koherentnog tla slabijim vibracijama se ne može savladati prisutna sila kohezije radi zbijanja materijala. Da bi se ta sila savladala, treba dovoljno velika udarna sila mašine za zbijanje, tj. dovoljno velika amplituda, odnosno velika težina mašine za zbijanje tla.

Zbijanje vezanog tla pojedinačnim snažnim udarcima, tj. velikom amplitudom, odnosno veća težina mašine ima veće značenje, nego na nevezanom zemljanom materijalu. Vezano tlo, kad sadržava glinu koja ima pojedinačne čestice u obliku pljosnatih listića ili sitnih kuglica, formira u prirodi raznoliku strukturu: lančanu, mrežastu ili pahuljastu. Ovakva struktura vezanog tla »upija« (prigušuje, amortizuje) opterećenja ili udarce izazvane mašinom za zbijanje znatno bolje, nego nevezano tlo. U vezanom materijalu smičuća sila zavisi od vlažnosti, s tim da sa povećanjem vlažnosti pada, te kod granice tečenja praktično dostiže vrijednost blizu nuli.

Drugim riječima vlažnost ima vrlo velik uticaj na zbijanje vezanog materijala, kao i veći udari (amplitude), odnosno veća težina mašine za zbijanje.

STABILIZACIJA KREČOM

Za stabilizaciju krečom pogodna su prvenstveno koherentna glinovita tla, dok se nekoherentna tla mogu stabilizovati na ovaj način jedino ako sadrže određeni dio gline, ali u praksi to rijeđe dolazi u obzir.
Poznato je da je prirodno glinovito tlo vrlo osjetljivo na promjenu vlažnosti i kod visokih sadržaja vode postaje nepodesno kao građevinski materijal bilo da se radi u njemu ili s njim.
Kod stabilizacije tla krečom dolazi do reakcije između kreča i minerala gline. Kreč se dodaje tlu ili u obliku hidrata $Ca(OH)_2$ ili živog kreča CaO, koje se gasi vlagom iz tla pri čemu opet nastaje kalcijev hidroksid $Ca(OH)_2$.
U tlu kalcijev hidroksid se djelomično disocira u Ca ione i OH ione. Dolazi do kationske izmjene pri kojoj se natrijum iz visokoplastičnih glina zamijenjuje kalcijem iz kreča. Na taj se način dobiva kalcijska glina koja ima znatno manju plastičnost nego natrijska. Kreč ujedno povećava pH vrijednost tla do 12,6 što omogućava potpunu zamjenu kationa i poboljšava topljivost silikata i aluminata koji se nalaze u glini.
Reakcija nastala kationskom izmjenom ima vrlo brzi tok, u tlu se tako reći momentalno nakon dodavanja kreča bitno mijenjaju svojstva glina.
Poboljšava se obradljivost glinenog tla, mogućnost zbijanja i početna čvrstoća mješavine tlo-kreč. Nakon toga dolazi do dugotrajne reakcije kreča sa aktivnim silikatima i mineralima gline, to jest dolazi do pucolanske reakcije.

Određivanje sastava stabilizacijske mješavine

Prije početka rada na stabilizaciji u laboratoriju se određuje prethodni radni sastav (receptura). Nakon određivanja osnovnih osobina tla koje se želi stabilizovati (granulometrijski sastav, granice konzistencije, organske materije, Proctor) pristupa se izradi i ispitivanju mješavina tla sa raznim količinama dodatog kreča.
Pored spomenutih osobina kod mješavina se ispituje čvrstoća na pritisak na valjkastim uzorcima 10 cm visine 11,7 cm ili 15,2 cm i visine 15,2 cm koji se čuvaju u vlažnom prostoru 7 i 28 dana.
Za posteljicu se traži da minimalna čvrstoća na pritisak bude:
- nakon 7 dana 0,4 MN/m2
- nakon 28 dana 0,5 MN/m2.

Na osnovu dobijenih rezultata, a uzimajući u obzir kriterije za čvrstoću, bira se mješavina za recepturu. Recepturom se daju ovi podaci:
- potrebna količina kreča u mas.% u odnosu na suhu masu tla,
- optimalna vlažnost mješavine tla i kreča,
- maksimalna suha prostorna masa mješavine po Proctoru
- čvrstoća.

Potrebna količina kreča obično se kreće od 3 do 5% od mase suhog tla, izuzetno do 10% za slučajeve vrlo plastičnog i mokrog tla.
Na sloj glinovitog tla debljine 20 cm razastire se prema tome oko 10 do 15 kg kreča po m2.

Izvođenje stabilizacije krečom

Postupak stabilizacije tla krečom na gradilištu, najkraće opisano se sastoji od homogenog mješanja tla s odgovarajućon količinom kreča pri čemu mješavina u pravilu mora imati optimalnu vlažnost. Mješavina tla i kreča se zbija, a zatim do tražene zbijenosti njeguje određeno vrijeme - do postizanja zahtijevanih karakteristika.















Stabilizacija cementom

Za razliku od kreča koji zahtijeva glinoviti materijal, cementom se mogu stabilizovati i nekoherentni materijali. Cement, naime, sadrži u sebi pucolanske komponente pa predstavlja samostalno vezivo.

Kod nekoherentnog tla (npr. pijeska) pomiješanog sa cementom, uz prisutnost vode dolazi do hidratacije cementa, do stvaranja određenih produkata (u prvom redu kalcijevih i aluminijevih hidrata) i do sljepljivanja i povezivanja zrnaca. Obavijanje zrnaca je, zbog relativno male količine cementa, nepotpuno, tako da sistem ima veliku poroznost, ali je inače čvrst i stabilan, tj. mehanički otporan, a isto tako znatno mu je poboljšana otpornost protiv nepovoljnih vremenskih i hidroloških okolnosti (kiša, smrzavanje).
Kod mješavine koherentnog tla (prašinaste gline i sl.) i cementa dolazi isto tako do hidratacije i pojave vezivanja čestica tla. Kod manje količine cementa u stabilizacijskoj mješavini mogu se stvoriti jezgre koje međusobno nisu povezane, ali ipak učvršćuju strukturu, dok se kod većih količina cementa razvija fini cementni skelet koji prožima materijal i poboljšava mu mehaničke karakteristike. Kod ove vrste materijala postoji i dodatni stabilizacijski efekt, jer se prilikom hidratacije iz cementa oslobađa određena količina živog kreča koji, zatim, stupa u reakciju s aktivnim silikatima i mineralima gline iz tla i u jednom dužem, sporijem procesu dodatno povećava čvrstoću materijala.

Za stabilizaciju tla sa cementom preporučuju se cementi nižih čvrstoća kao što je PC-25 i eventualno PC-30, a nikako jači cementi. Prvi razlog je što jačeg cementa treba dodati manje, pa to u nekim slučajevima može otežati postizanje homogene mješavine.
Drugi je razlog i važniji. Naime, cementom stabilizirani materijali su dosta kruti, a rade se u kontinuiranim površinama pa su skloni nastajanju pukotina. Svakako da toj pojavi pogoduju jači cementi, koji izazivaju i veće stezanje mješavine.
Voda koja se eventualno dodaje tlu radi postizanja optimalne vlažnosti treba biti čista i pogodna za radove sa cementom. Voda ima u stabilizaciji dvije uloge - služi za podmazivanje čestica i omogućavanje djelotvornog zbijanja (optimalna vlažnost), te za proces hidratacije cementa. Zbog toga je potrebna vlažnost mješavine tla i cementa nešto viša od optimalne vlažnosti samog tla.
Mješavine tla s određenim dodacima cementa ispituju se u pogledu čvrstoće i otpornosti prema vodi i smrzavanju, na osnovi čega se određuje receptura.
Tražena čvrstoća na pritisak (uzorci su isti kao kod krečne stabilizacije) iznosi:

- nakon 7 dana 1,4 MN/m2
- nakon 28 dana 1,75 MN/m2

Recepturom se određuje:

- postotak cementa u odnosu na suhu masu tla
- optimalna vlažnost mješavine tlo-cement po Proctoru (standardnom)
- maksimalna suha prostorna masa po Proctoru
- minimalna čvrstoća (nakon 7, odnosno 28 dana)
- da li je stabilizirani materijal otporan prema vodi i eventualno prema smrzavanju

Potrebna količina cementa dosta varira u zavisnosti od vrste tla i vrste cementa. Ona se određuje tako da bude minimalno potrebna da se zadovolje traženi zahtjevi i to ne samo zbog ekonomičnosti, nego i zbog opasnosti da ne dođe do pojave pukotina.
U tabeli su prikazane granice potrebnih količina cementa kod pojedinih vrsta materijala u postocima od mase tla, kao i za stabilizaciju sloja tla debljine 20 cm.

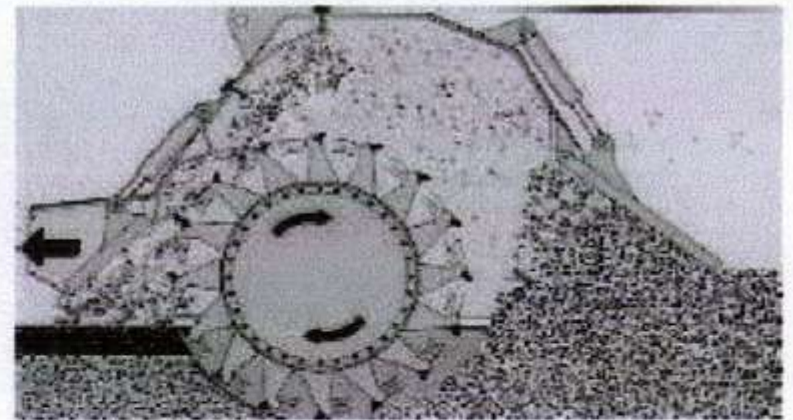
Vrsta tla	Sadržaj cementa	
	u % mase suhog tla	u m za sloj debljine 20 cm
Pijesak i prašinasti pijesak	6 do 10	22 do 30
Jednozrni pijesak	8 do 12	28 do 37
Prašinasto tlo	7 do 12	22 do 37
Glina	10 do 16	34 do 45

Stabilizacija tla cementom danas je u potpunosti mehanizirana. Razvijeni su i usavršene mašine za stabilizaciju koji daju velike radne učinke. Tehnologija je vrlo slična onoj kod stabilizacije tla krečom. Postupak stabilizacije radi se na samom gradilištu ("mix-in-place"), a uključuje 4 osnovne faze:

- pripremu planuma,
- razastiranje cementa,
- miješanje tla sa cementom i
- zbijanje.


SAKAI





OSTALE METODE POBOLJŠANJA TLA

Dubinska konsolidacija
- u nekoherentnom tlu
- u trošnim raspucalim masivima

Postižemo : - povećanje čvrstoće
- vodonepropusnost
- smanjenje stišljivosti, izbjegavanje naknadnog slijeganja

Potpuna konsolidacija

1. Dreniranjem
2. Injektiranjem raspucalog stijenskog masiva ali i šljunkovitog tla
   - ispunjavanje šupljina raznim vezivom
3. predopterećenjem podtla (muljevita tla zasićena vodom)
   - stalnim nadosipavanjem povećava se pritisak na tlo i u tlu (dugotrajno)





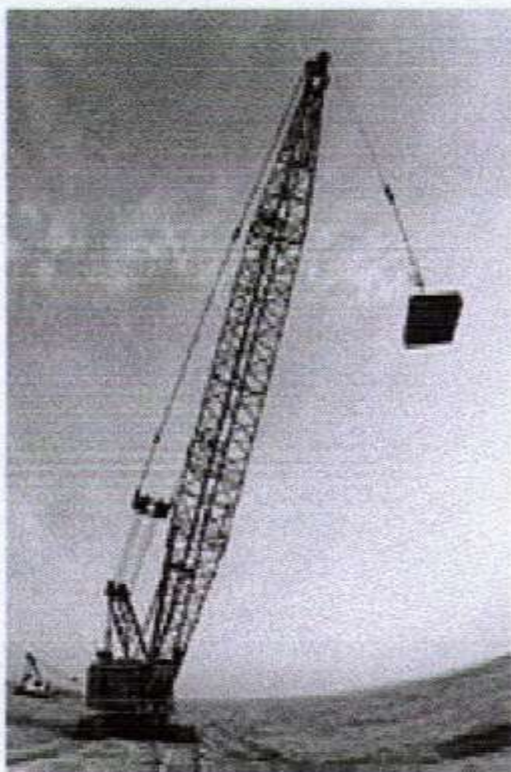
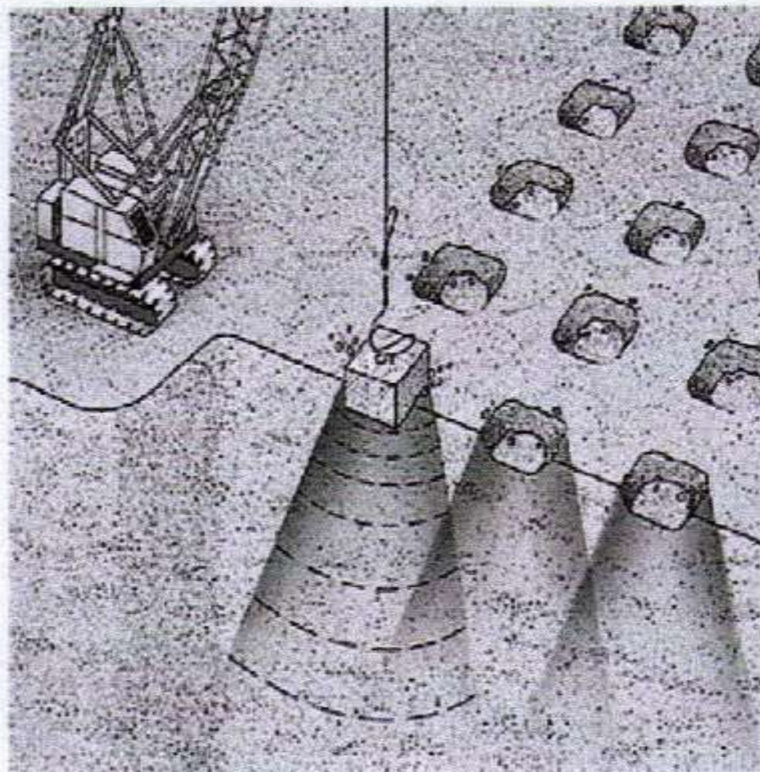




Dubinsko sabijanje

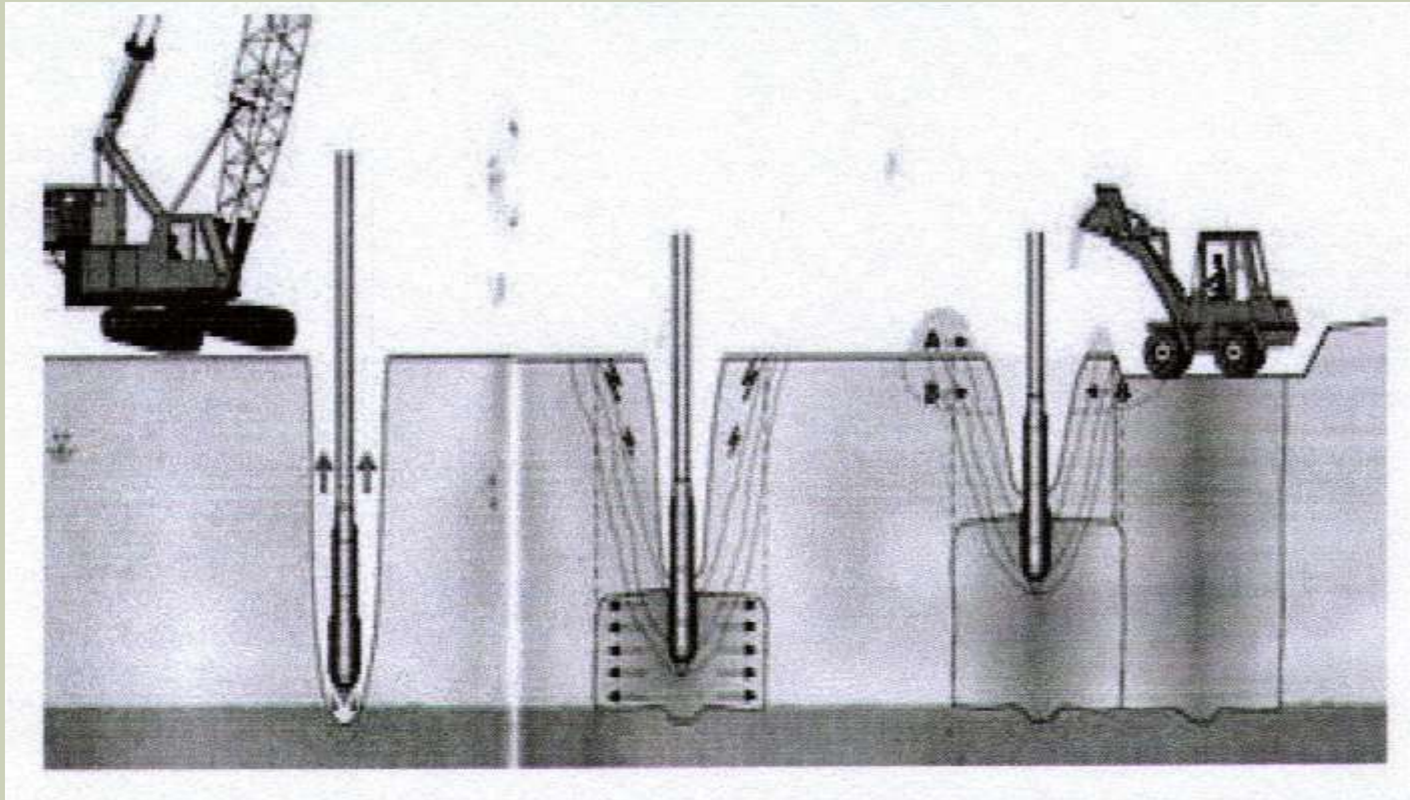
a) udarom

- za sva tla
- poboljšava nosivost 2-4 puta
- slobodnim padom betonske ili čel. ploče
- visina 15-40 m
- sabija 10-30 m
- masa do 40 t


b) Vibroflotacijom

- dubinsko vibriranje šljunkovitog tla
- vibratorske igle 3-5m ; 2t , ovješene o krak bagera
- prodiranje u tlo pod djelovanjem mase i pritiska vode
- izvlačenjem nastavlja se sa sabijanjem



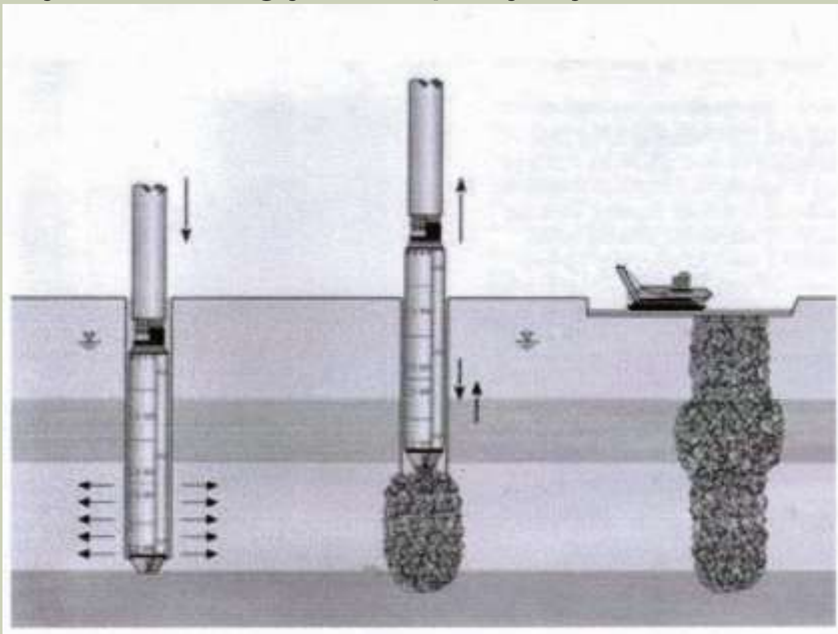
Konsolidacija izvođenjem šipova

A) **nevezani šljunčani šipovi**

1. **izvođenje šipova sa prethodnim vibriranjem tla**
   - opterećenje se prenosi do nosivih slojeva
   - za tla sa 10-15 % materijala glinenog porijekla (gdje ostale mjere ne daju rezultate)
   - za koherentna tla zasićena vodom

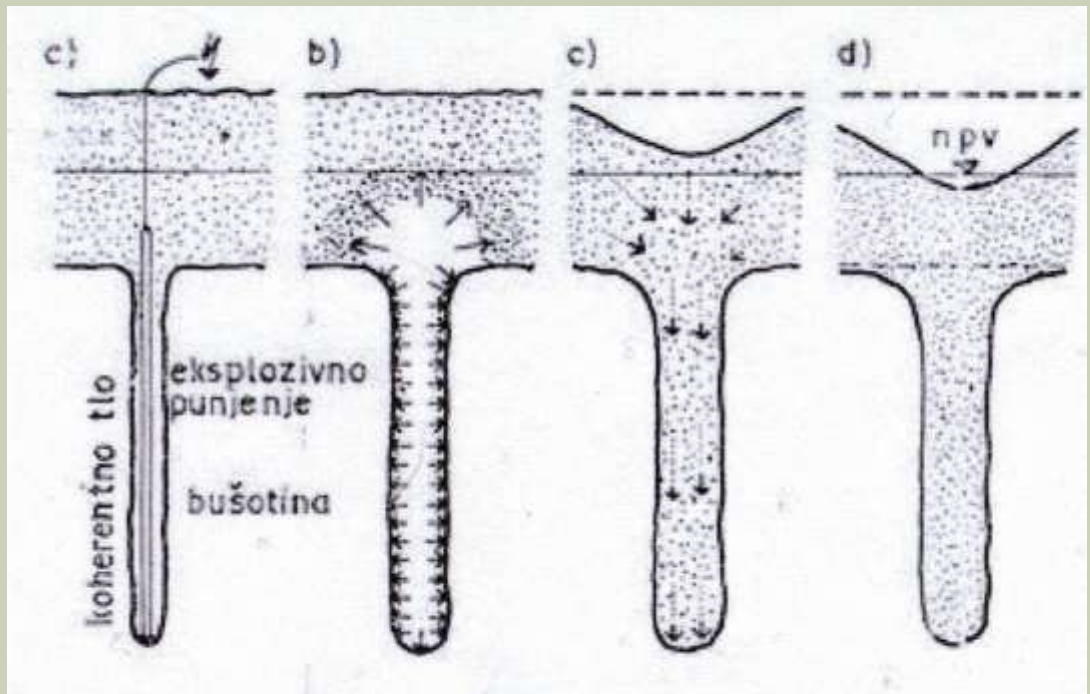
Tehnologija izvođenja:

- vibratori ovješeni na krak dizalice ulaze u tlo
- vibrira se, prilikom izvlačenja vibratora puni se kvalitetnim šljunčanim materijalom
- dodani materijal se također vibrira
- novija tehnologija vrši punjenje kroz vibrator prilikom njegova izvlačenja



Izvođenje šipova sa prethodnim bušenjem tla

- **metoda izvođenja betonskih pilota**
  - bušenje rupa ø oko 1m
  - zaštita kolonom
  - punjenje šljunkom uz izvlačenje kolone
  - sabijanje novog materijala
  - sporija i skuplja matoda
- **Šljunčani šipovi izvedeni sa prethodnim miniranjem tla**
  - nasipanje tla boljim materijalom
  - bušenje rupa, punjenje eksplozivom i aktiviranje
  - propadanje materijala u stvoreni prostor i " stvaranje " šipova
  - dodatno nasipanje
  - valjanje

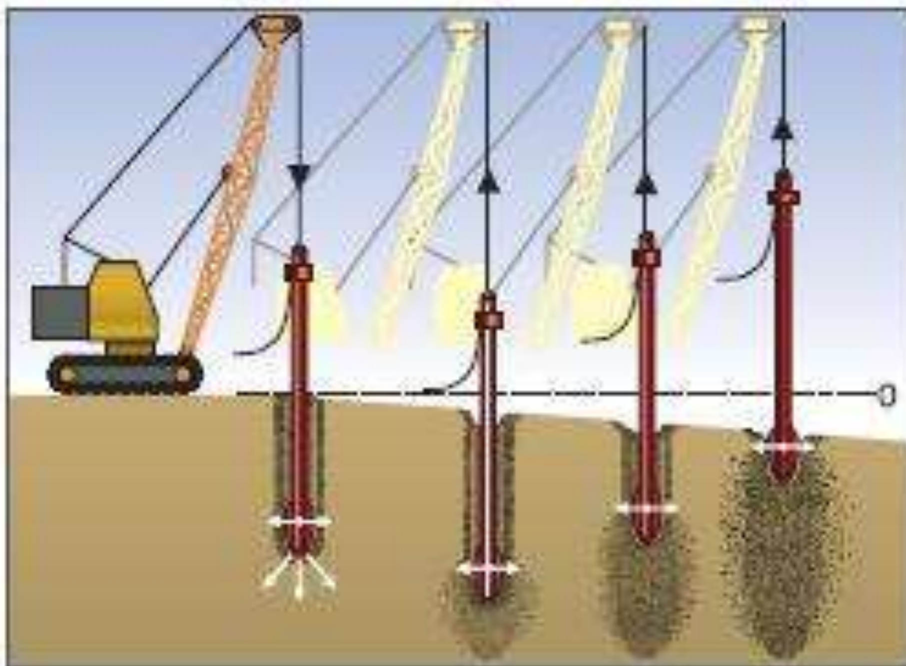


Vezani šljunčani šipovi

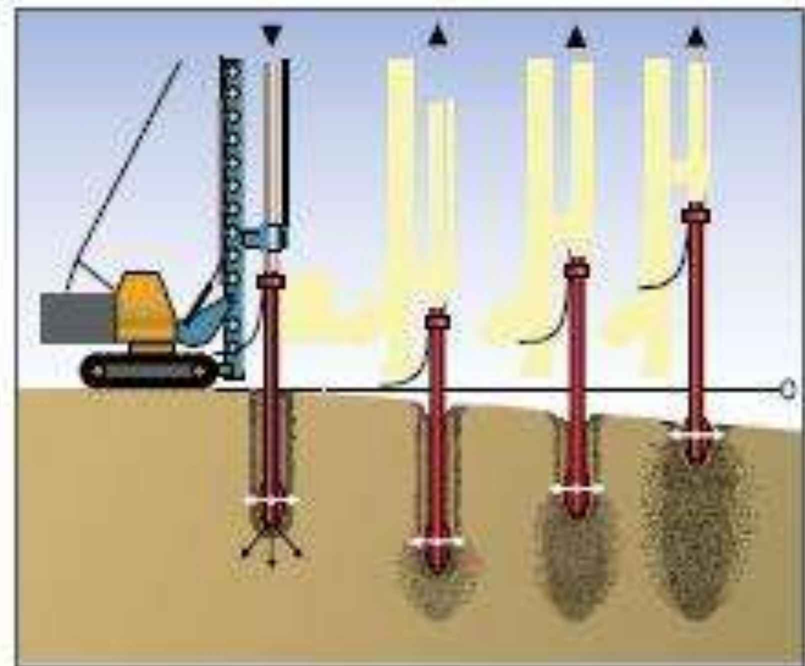
- postupak mlaznog injektiranja (jet-grouting)
- za sve vrste tla

Tehnologija izvođenja

- izvođenje bušotina
- ubrizgavanje otopine s vezivom kroz mlaznice na vrhu pribora za bušenje
- pritisak 300-500 bar-a
- materijal se razara,veže i stvara se “vezani “ šip
- prodiranje veziva do 2,5 m promjera



Vibro-compaction (Free hanging)



Vibro-compaction (Mounted on a mast)

Suvremeni materijali u postupcima stabilizacije

Proizvodi za stabilizaciju slabo nosivih tala mogu se podijeliti u nekoliko osnovnih grupa:

- proizvodi na osnovi sintetskih polimera (primjerice akrilat, polivinil acetat),
- enzimi i biološka sredstva,
- ionski proizvodi,
- lignini,
- smole
- ostali tipovi sredstava za stabilizaciju

Na tržištu je danas dostupan velik broj sredstava na osnovi sintetičkih polimera . Dostupni su većinom u obliku emulzija ili u praškastom obliku.
Ako se nalaze u obliku emulzija primjena im je vrlo jednostavna. Polimerna emulzija uobičajeno sadrži 40-50 % polimera te 1-2 % emulgatora rastopljenih u vodi.
Kod praškastih su sredstava polimeri obično pomiješani s nekim drugim materijalima, primjerice vapnom ili letećim pepelom, tako da polimeri obavijaju čestice tih materijala.
Polimeri u tlu mogu djelovati na više načina. Primjerice akril polimeri pri sušenju očvršćuju te razvijaju kemijsku vezu koja sljepljuje zrna. Neki od polimernih materijala djeluju i kao encimi.
Najveći broj proizvoda na bazi polimera namijenjenih stabilizacijama tla su vinil acetati ili akril kopolimeri.

Osnovnu strukturu enzima čine proteini koji u biološkom sistemu djeluju kao katalizatori. Za stabilizaciju sredstvima na osnovi enzima pogodna su tla s učešćem prašinastih čestica, čestica gline i organskih materijala većim od 20 %.
Enzimi koji se dodaju u tlo ostaju stalno reaktivni. Djeluju tako da u tlu sintetiziraju određene grupe hemijskih komponenata i njihovo djelovanje ograničavaju na određene veze u materijalima sa kojim reaguju.

Elektroliti koje sadrže sredstva za stabilizaciju na bazi iona utiču na osnovnu prirodu minerala glina. U tlu sa normalnim sadržajem vlage elektroliti se prenose osmozom. Oni otpuštaju apsorbiranu vodu pretvarajući se pritom u gustu suhu masu. Sredstva na osnovi iona imaju efekta ako je sadržaj finih čestica najmanje 35 % mase suhog tla i ako postoji određen udio minerala glina u sastavu sitnih čestica. Najveći broj proizvoda iz ove grupe izrađuje se na osnovi sulfoniranih ugljikovodika.
Glavni reagens je dvodijelni molekul. Jedan dio molekula apsorbira se na površinu čestica gline, smanjuje im kapacitet ionske izmjene. Takva transformacija minerala gline rezultira nemogućnošću apsorpcije vode, odnosno gline se iz hidrofilnih pretvaraju u hidrofobne. Druga komponenta djeluje kao mazivo koje omogućuje bolju pokretljivost čestica te time i mogućnost postizanja boljih učinaka zbijanja uz primjenu manje energije. Upotrebom ovih materijala za stabilizaciju postiže se veća suha gustoća za određenu energiju zbijanja u poređenju sa prirodnim tlom.

Lignin je prirodni polimer, osnovni element drveta. Sulfatni lignin koji se upotrebljava pri stabilizacijama dobiva se pri preradi drveta prilikom proizvodnje celuloze. Proizvodi na osnovi lignina najviše se upotrebljavaju kao sredstva za sprečavanje prašenja, ali pokazali su se i kao dobra sredstva za kratkotrajno povećanje nosivosti. Provedena istraživanja primjene ovih materijala pokazala su da se dodatkom od 5 % lignosulfata osigurava vodonepropusnost u prašinastim pijescima.

Grupa sredstava na osnovi smola obuhvata širok raspon proizvoda. Dio sredstava na osnovi smola su prirodni proizvodi, što znači da su biodegradibilni i kao takvi imaju prilično kratkotrajan učinak. S druge strane, proizvodi na osnovi uljnih smola, koji su nerazgradivi, imaju mnogo trajniji učinak. Mehanizam djelovanja koji karakteriše ovu grupu proizvoda sastoji se u oblaganju i povezivanju sitnih čestica tla. Neke od smola na osnovu kojih su izrađeni ovi proizvodi pri tome mogu stvoriti hidrofobnu površinu nakon obavijanja sitnih čestica.